

Teemu Saarinen

PATTERIVERKOSTON TASAPAINOTUS  
KULTTUURIHISTORIALLISESSA KOHTEESSA

Rakennustekniikan koulutusohjelma  
2015

# PATTERIVERKOSTON TASAPAINOTUS KULTTUURIHISTORIAALLISESSA KOHTEESSA

Saarinen, Teemu  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2015  
Ohjaaja: Heinonen, Jarkko  
Sivumäärä: 38  
Liitteitä:

Asiasanat: kulttuurihistorialliset rakennukset, lämmitys, lämpöhäviö, patteriverkosto, Turun linna

---

Työn tarkoituksena oli tuottaa Turun linnan patteriverkoston tasapainotukseen tarvittavat laskelmat ja materiaalit, sekä tarkastella kulttuurihistoriallisen rakennuksen tuomia haasteita laskelmiin sekä mitoittamiseen. Patteriverkoston tasapainotuksen pää tavoitteet olivat sisätilojen lämpöolojen sekä energiatehokkuuden parantaminen.

Työn kohteena oli Turun linna, joka on rakennettu 1300-, 1400- ja 1500-lukujen aikana ja jota on kunnostettu ja restauroitu valmistumisesta aina nykypäivään asti. Turun linna koostuu kahdesta eri osasta: päälinnasta ja esilinnasta. Turun linnassa on havaittu alhaisia ja vaihtelevia lämpötiloja huoneiden välillä, joissain tiloissa on havaittu myös vetoa.

Patteriverkoston tasapainotuksen lisäksi työssä tarkasteltiin myös muita lämpöhäviöihin ja sisäilman lämpöoloihin vaikuttavia tekijöitä. Työ aloitettiin laskemalla kaikille rakenteille U-arvot vanhojen rakennekuvien pohjalta. Lämpöhäviölaskenta Turun linnalle suoritettiin MagiCAD Room-ohjelmalla, jolla luotiin linnasta lämpöhäviömalli käyttäen U-arvojen laskennasta saatuja arvoja. Patteriverkoston tasapainotus ja mallinnus suoritettiin MagiCAD-ohjelmalla.

Patteriverkoston tasapainotuksen teoreettisia lopputuloksia verrattiin alkuperäisiin suunnitelmiin ja todettiin verkoston olleen reilusti ylimitoitettu. Turun linnassa on silti havaittu alhaisia ja epätasaisia lämpötiloja vaikka lämmitysverkosto on ollut ylimitoitettu. Alhaisten ja epätasaisten lämpötilojen aiheuttajaksi todettiin patteriverkoston kiertovesipumppujen alimitoitus, jolloin kiertovesipumppujen paineenkorotus on ollut riittämätön patteriverkoston optimaalisen toiminnan kannalta.

Patteriverkoston tasapainotuksen suunnittelun ollessa lähes valmis tapahtui Turun linnassa lämmityspatterin hajoaminen, jonka seurauksena päätettiin uusia koko patteriverkosto, jotta vastaavanlaisilta vahingoilta välttyttäisiin tulevaisuudessa. Patteriverkoston tasapainotusta ei päästä valitettavasti toteuttamaan suunnitellulla tavalla, mutta tasapainotusta varten lasketut lämpöhäviöt sekä piirretty patteriverkosto toimivat hyvänä runkona uuden patteriverkoston suunnittelussa.

# BALANCING OF HEATING SYSTEM IN CULTURAL AND HISTORICAL BUILDING

Saarinen, Teemu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

May 2015

Supervisor: Heinonen, Jarkko

Number of pages: 38

Appendices:

Keywords: cultural and historical buildings, heating, heat loss, radiator system, Turku castle

---

The purpose of this Bachelors thesis was to produce all the materials and calculations that are needed for balancing the heating system in Turku castle and to observe the challenges that cultural and historical building causes in balancing and calculations. The goals of balancing the heating system was to upgrade the indoor temperatures of the inside air and energy efficiency of Turku castle.

The object of thesis was Turku castle which was built during the 14th, 15th and 16th centuries and which is restored and repaired from the day it was ready until the present days. Turku castle consists of two parts: the inner bailey and the outer bailey. The temperatures in castle have been observed too low and there are uneven temperatures in different rooms.

Besides of the heating systems balancing other factors which have an effect on heat loss calculations and inside temperatures were also viewed. Thesis was started by calculations to define the U-value for every structure in the castle using the old structure drawings as source. Heat loss modelling was made using MagiCAD Room-program which was based on U-value calculations. Modelling and balancing the heating system was made with MagiCAD-program.

Theoretical outcomes of the heating systems balancing were compared to the old heating plans and was discovered that the old system was considerably oversized. There are still noticed low and uneven temperatures in the castle even the heating system have been oversized. The reason for the low and uneven temperatures was discovered in circulating water pumps, which were undersized so the pumps do not create enough pressure for the heating systems proper function.

When the project was almost finished one of the old heating radiators in castle was broken and caused the decision to rebuild the whole heating system to avoid similar accidents. Unfortunately we are not able to accomplish the heating systems balancing as we planned, but the heat loss calculations and heating systems modelling which were made are going to be used as base for the designing of the new heating system.

## KÄYTETTYJÄ MERKINTÖJÄ

$U$  = lämmönläpäisykerroin [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]

$R$  = lämmönvastus [ $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ]

$R_T$  = rakennusosan kokonaislämmönvastus [ $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ]

$R_{si}$  = sisäpuolinen pintavastus [ $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ]

$R_{se}$  = ulkopuolinen pintavastus [ $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ]

$R_{1...n}$  = tietyn rakennekerroksen lämmönvastus [ $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ]

$\Lambda_n$  = normaalin lämmönjohtavuus [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]

$d$  = ainekerroksen paksuus [m]

$\phi_s$  = ulkoseinien lämpöhäviöt [W]

$\phi_l$  = ikkunoiden lämpöhäviöt [W]

$\phi_o$  = ovien lämpöhäviöt [W]

$\phi_A$  = alapohjan lämpöhäviöt [W]

$\phi_{v,l}$  = vuotoilman lämpöhäviöt [W]

$\phi_{iv}$  = korvausilman lämpöhäviöt [W]

$U$  = lämmönläpäisykerroin [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]

$A_{US}$  = ulkoseinien pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$A_{SS}$  = sisäseinien pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$A_A$  = alapohjan pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$A_l$  = ikkunoiden pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$A_o$  = ovien pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$A_{vaippa}$  = huoneen vaipan pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$q_{50}$  = rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku [ $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ]

$q_v$  = korvausilmavirta [l/s]

$q_{v,l}$  = vuotoilmavirta [l/s]

$\rho$  = ilman tiheys [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$C_{pI}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti [ $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$\Delta t$  = lämpötilaero [ $^\circ\text{C}$ ]

3600 = kerroin, joka muuttaa ilmavirran  $\text{m}^3/\text{h}$  yksiköstä  $\text{m}^3/\text{s}$  yksikköön

$x$  = kerroin, joka määrätty rakennuksen kerrosten lukumäärän mukaan



## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PATTERIVERKOSTON TASAPAINOTUS .....	7
3	KOHTEEN HISTORIA .....	10
3.1	Päälinna.....	10
3.2	Esilinna .....	11
4	KOHTEEN NYKYTILANNE .....	12
4.1	Lämmitysjärjestelmä.....	12
4.2	Sisäolosuhteet .....	18
5	LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMIEN LASKENTA.....	19
5.1.1	Päälinna.....	19
5.1.2	Esilinna.....	20
5.1.3	U-arvojen laskenta.....	22
5.1.4	Room-mallin luonti .....	24
6	ESIMERKKIHUONEEN TARKASTELU.....	25
7	TEOREETTINEN TARKASTELU LÄHTÖTILANTEeseen .....	32
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tasapainottaa Turun linnan patteriverkosto ja tarkastella kulttuurihistoriallisen rakennuksen tuomia haasteita työssä. Työn toimeksiantajana toimii Senaatti-kiinteistöt, joka on tilannut patteriverkoston tasapainotuksen Elomatic Oy:ltä, jossa työskentelen. Työn tavoitteena on Turun linnan sisäilmaston ja energiatehokkuuden parannus. Turun koostuu kahdesta osasta: päälinnasta ja esilinnasta, joiden yhteenlaskettu bruttoala on 17 400 m<sup>2</sup> ja tilavuus 66 000 m<sup>3</sup>.

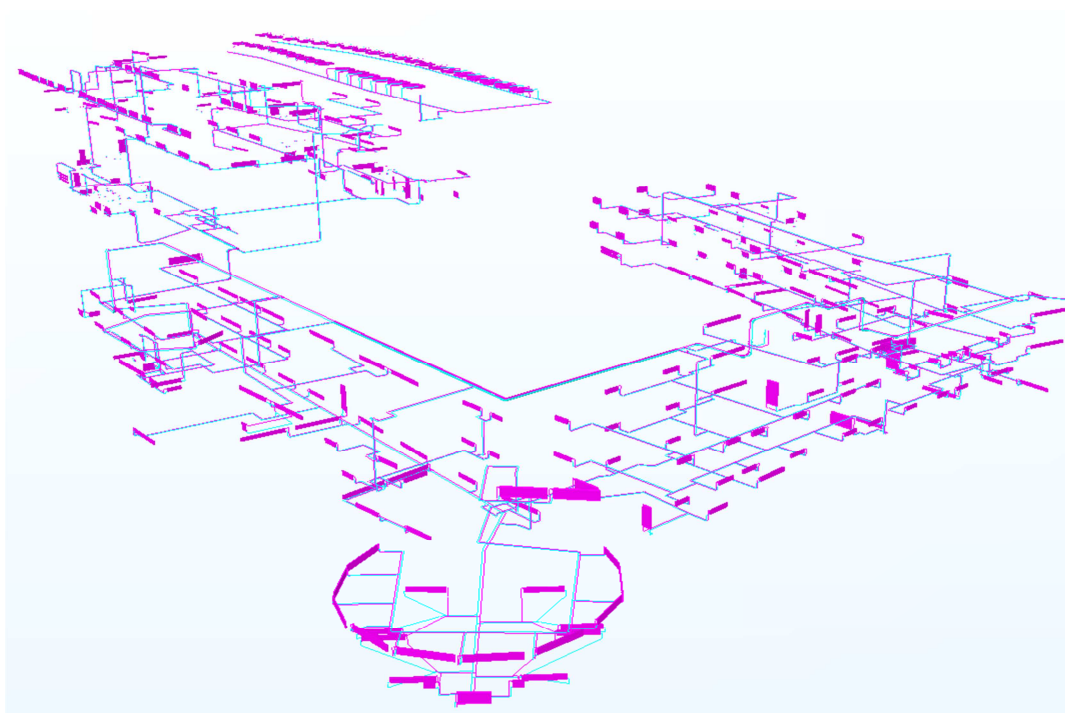
Patteriverkoston tasapainotusta varten on patteriverkosto myös kartoitettava, jolloin saadaan selville pitävätkö vanhat, 1980-luvulta olevat, lämmityspiirustukset paikkaansa vai ovatko ne puutteellisia. Kartoituksesta haastavan tekee vanhojen lämpökuvien puuttuminen tietyiltä osin linnaa ja lämpöputkien piiloasennukset. Kartoitus suoritetaan kiertämällä Turun linnan patteriverkosto läpi olemassa olevien lämpökuvien perusteella, joihin mahdolliset poikkeavuudet korjataan.

Turun linnan rakenteille pitää laskea U-arvot, joiden perusteella linnan lämpöhäviömalli luodaan. Lämpöhäviölaskennan haasteet ovat vanhojen rakenteiden U-arvojen laskennassa, sillä rakennepaksuudet, varsinkin ulkomuureissa, vaihtelevat erittäin paljon linnan eri osissa, sekä osasta linnaa ei ole erillisiä rakennepiirustuksia saatavilla.

Patteriverkoston tasapainotuksen suunnittelussa käytetään MagiCAD-ohjelmaa, jolla patteriverkosto piirretään ja mitoitetaan. Lämpöhäviöiden määrittelyssä käytetään MagiCAD Room-ohjelmaa, jolla mallinnetaan linnan lämpöhäviöt huonekohtaisesti suoritettujen U-arvojen laskennan perusteella. Yhdestä esimerkkihuoneesta luodaan IDA ICE-ohjelmalla malli, jolla sisäilman olosuhteiden vaihtelua pyritään tarkastelemaan eri ulkolämpötiloilla. Simuloinnilla pyritään tarkastelemaan massiivisten seinien lämmönvarauskykyä. Työssä tarkastellaan myös muita linnan sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten ilmanvaihtojärjestelmää.

## 2 PATERIVERKOSTON TASAPAINOTUS

Patteriverkoston tasapainotuksen suunnittelu aloitetaan lähtötietojen hankinnalla ja kohteeseen tutustumisella. Turun linnaan tuli tutustuttua työn edetessä erittäin hyvin, sillä paikanpäällä on käyty kevään edetessä monta kertaa. Käyntien aikana keskityimme patteriverkoston tasapainotukseen, mutta samalla tuli myös havainnoitua linnan sisäolosuhteita sekä muiden taloteknisten järjestelmien kuntoa. Tärkeimpiä lähtötietoja ovat lämpöpiirustukset, joista nähdään putkilinjojen reitit, venttiilien esisäätöarvot sekä järjestelmän muiden laitteiden suunnitteluarvot. Itse patteriverkoston tasapainotus voidaan suorittaa manuaalisesti käsin laskemalla, jolloin patteri- ja linjasäätöventtiilien esisäätöarvot saadaan laitevalmistajien säätökäyristä tai käyttämällä mitoitusohjelmaa, joka laskee patteri- ja linjasäätöventtiilien esisäätöarvot automaattisesti verkoston mallinnuksen jälkeen. Tässä työssä on käytetty MagiCAD-ohjelmaa, jolla näin suuren verkoston tasapainotus onnistui luontevasti. Kuvassa 1 on esitetty Turun linnan patteriverkosto piirrettynä MagiCAD-ohjelmalla.

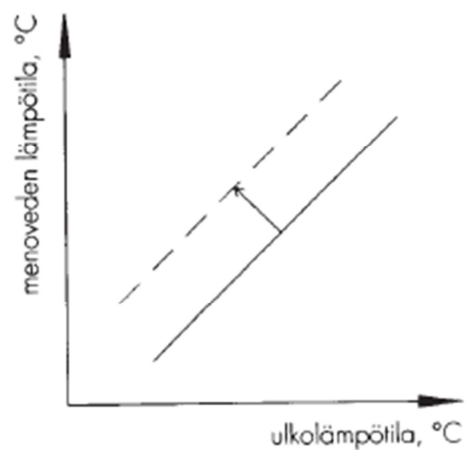


Kuva 1

Turun linnan patteriverkosto piirrettynä MagiCAD-ohjelmalla.

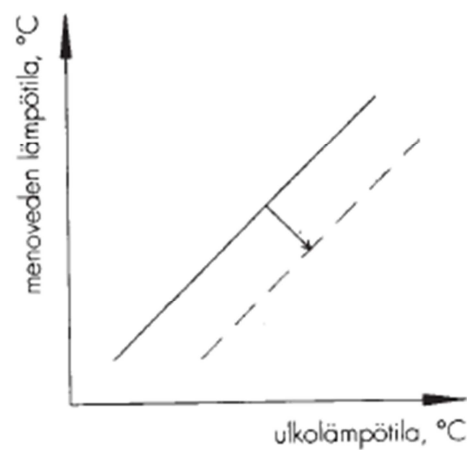
Patteriverkoston perussäätö koostuu kolmesta eri vaiheesta: vesivirtojen säädöstä, lämpötilojen hienosäädöstä sekä takuuajaisesta säädöstä. Vesivirtojen säätö suoritetaan täytetylle ja ilmatulle verkostolle. Vesivirtojen säädössä jokaisen patterin patteriventtiilin termostaattiosa irrotetaan ja venttiilin esisäätöarvo asetetaan vastaamaan suunniteltua arvoa. Myös linjakohtaiset linjasäätöventtiilit asetetaan suunniteltuihin arvoihin. Venttiilien säädön jälkeen pumpulle säädetään suunnitelmien mukainen kokonaisvesivirtaama, jonka jälkeen linjasäätöventtiileiltä tarkistetaan virtaamien suuruudet. Linjasäätöventtiileille sekä pumpulle suurin sallittu virtaaman poikkeama on  $\pm 10 \%$  suunnitteluarvosta. (LVI 41-10230 1994)

Lämpötilojen hienosäätö suoritetaan lämmityskaudella eli aikana jolloin vuorokauden keskilämpötila on alle  $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , jotta saadaan luotettavat mittausravot. Mittausten perusteella lähdetään säätämään menoveden lämpötilan säätökäyrää oikeanlaiseksi joko suuntaissiirolla tai käyrän jyrkkyyttä muuttamalla. Huonetilojen pysyessä tasaisesti alle halutun huonelämpötilan nostetaan säätökäyrää suuntaissiirolla, kuten kuvassa 2. Huonetilojen pysyessä tasaisesti yli halutun tavoitelämpötilan lasketaan säätökäyrää suuntaissiirolla, kuten kuvassa 3. Huonelämpötilojen ollessa liian korkeita vain kovilla pakkasilla loivennetaan säätökäyrää, kuten kuvassa 4. Säätökäyrällä tarkoitetaan käyrää, joka määrittää patteriverkoston menoveden lämpötilan suhteessa ulkolämpötilaan. Menoveden lämpötilaa säädetään shunttipiirin avulla, jossa toimilaitteella varustettu kolmitieventtiili ohjaa paluuvien sekoitusta menoveteen verkoston- ja ulkolämpötilojen mittausten perusteella. Shunttipiirin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5. Säätökäyrää muuttaessa täytyy lämpötilojen antaa tasaantua vähintään kaksi vuorokautta. Perussäädön jälkeen samalla mitoituslämpötilalla suunniteltujen tilojen keskilämpötilat eivät saa poiketa toisistaan enempää kuin  $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . (LVI 41-10230 1994)



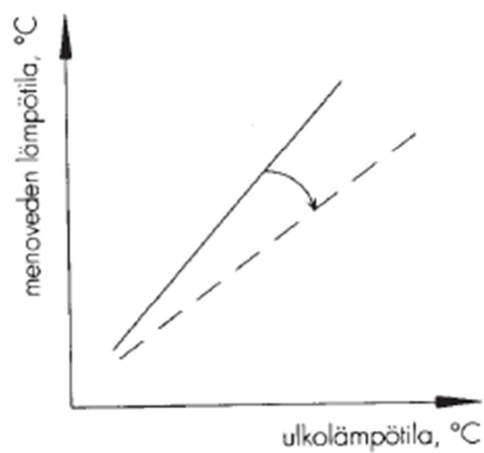
Kuva 2

Säätökäyrän suuntaissiirto ylöspäin. (LVI 41-10230 1994)



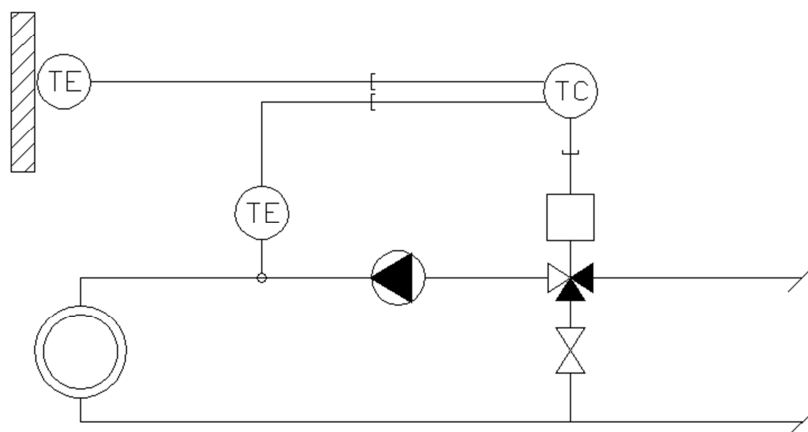
Kuva 3

Säätökäyrän suuntaissiirto alaspäin. (LVI 41-10230 1994)



Kuva 4

Säätökäyrän loivennus. (LVI 41-10230 1994)



Kuva 5  
Shunttipiiri.

### 3 KOHTEEN HISTORIA

#### 3.1 Päälinna

Päälinnan rakentaminen on oletettavasti aloitettu 1280-luvulla, jolloin rakennelmaa ei voitu kunnolla luonnehtia linnaksi. 1200-luvun lopulla rakennettu osa oli suuri suorakulmainen leiri, jossa oli neljä porttia ja jonka kehämuurin sisäpuolelle jääneelle suurelle aukiolle voitiin majoittaa satoja sotilaita. 1300-luvun alussa maan vakiintuneiden olojen takia tarvittiin umpinaista linnaa palvelemaan keskushallintoa sekä puolustusta. Vuonna 1365 Turun linna joutui piirityksen kohteeksi, jonka päätteeksi linna vallattiin rynnäköllä, jonka seurauksena linna syttyi tuleen ja sen keskeiset osat tuhoutuivat palossa. Tulipalon ja piirityksen jälkeen linnaa ryhdyttiin rakentamaan uudelleen. (Museovirasto 1993, Turun linnan www-sivut 2015)

1500-luku oli Turun linnan historian värikkäin vuosisata, sillä sen aikana linnaa piirrettiin peräti kuusi kertaa. Linna ei kärsinyt suuria vaurioita näiden piiritysten seurauksena. 1600-luvun alussa Turun linna paloi erittäin pahoin, jonka jälkeen se kunnostettiin, mutta edeltävään loistoonsa linnaa tai sen toimintaa ei enää saatu. Kunnostuksen jälkeen päälinnan kohtaloksi jäi kruunun varastoina toimiminen aina 1900-luvulle asti. (Museovirasto 1993, Turun linnan www-sivut 2015)

Vuonna 1939 Turun kaupunki sai päälinnan käyttöoikeuden, jolloin pantiin alulle Turun linnan entistämistöiden suunnittelu, joka aloitettiin linnan perusteellisella tutkimisessa jo samana vuonna. Jatkosodan ensimmäisenä aamuna 26.6.1941 Turun linnan päälinnan kaikki puuosat paloivat Neuvostoliiton ilmapommituksien seurauksena, jolloin jo aloitetut entistämistyöt jouduttiin keskeyttämään sodan ajaksi. Pommitusten jälkeen linna oli viisi vuotta raunioina ilman kattorakenteita. Sodan jälkeen entisöintityöt aloitettiin uudelleen vuonna 1946 ja toukokuussa 1961 päälinna vihittiin entistettynä. (Museovirasto 1993, Turun linnan www-sivut 2015)

### 3.2 Esilinna

Esilinnan on rakennettu päälinnan itäpuolelle 1400-luvun aikana. Esilinna rakennettiin kuitenkin uudelleen kuninkaan käskystä 1570- ja 1980-luvun aikana, koska Turun linnassa ei siihen aikaan ollut asumista varten tarkoitettuja tiloja, joita nyt esilinaan tehtiin. Rakennustyöt saatiin valmiiksi vuonna 1588, jolloin Turun linnan rakennustyöt todettiin kokonaisuudessaan valmistuneeksi. Turun linnan rakennustyöt alkoivat päälinnasta vuonna 1280 ja jatkuivat aina vuoteen 1588, jolloin esilinna valmistui, voidaan siis sanoa että Turun linnan rakentaminen kesti 308 vuotta. Vuoden 1588 jälkeen tehdyt työt ovat olleet korjaus- ja muutostöitä. (Museovirasto 1993, Turun linnan www-sivut 2015)

Vuonna 1614 päälinnassa tapahtuneen tulipalon seurauksena päälinnan toiminta siirrettiin esilinaan, jonka seurauksena esilinnasta tuli hallinnollinen keskipiste. Esilinnassa toimintansa aloitti Turun hovioikeus vuonna 1623. 1600-luvun lopussa ja 1700-luvun alussa Turun linna menetti asemansa maan hallinnollisena keskipisteenä,

kun maaherra muutti linnasta Turun keskusta asumaan. Maaherran muuton jälkeen esilinna ehti toimia aina kasarina, viinanpolttimona ja viljavarastona kruunulle. Vuonna 1751 esilinnaa ehdotettiin purettavaksi huonon kuntosensa takia, mutta senhetkinen maaherra esti esilinnan purkamisen ja aloitti korjaustyöt. Korjaustöiden valmistuttua esilinnasta tuli vankila. (Museovirasto 1993, Turun linnan [www-sivut 2015](#))

Vuonna 1881 Turun kaupungin historiallinen museo aloitti toimintansa esilinnassa, jolloin se sai käyttöönsä huonetilan. Vankila lopetti toimintansa esilinnassa vuonna 1891, jolloin viimeinen vanki siirrettiin uuteen lääninvankilaan Kakolaan. Tämän jälkeen museo laajensi toimintaansa saadessaan käyttöönsä enemmän tiloja esilinnasta ja vuonna 1901 museo sai käyttöoikeuden koko esilintaan. Esilinnan entistämistyöt aloitettiin sotien jälkeen vuonna 1955 perustusten uusimisella, joka suoritettiin neljässä eri vaiheessa viimeisen valmistuessa vuonna 1976. Perustusten uusimisen jälkeen voitiin suorittaa muut entistämistyöt, jotka suoritettiin viidessä eri vaiheessa vuosien 1977 ja 1981 välillä. Entistämistöitä viivästytti tulipalo esilinnan itäsiivessä vuonna 1980, jolloin suuremmilta vahingoilta kuitenkin säästyttiin palomuurien ansiosta. (Museovirasto 1993, Turun linnan [www-sivut 2015](#))

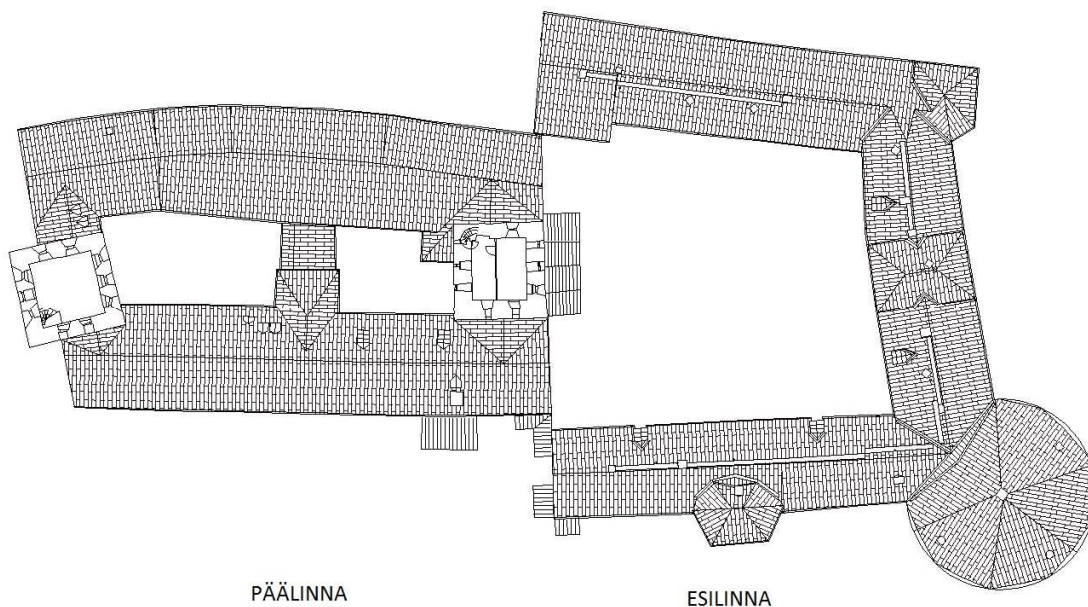
## 4 KOHTEEN NYKYTILANNE

### 4.1 Lämmitysjärjestelmä

Turun linnan patteriverkosto on vesikiertoinen kaksoisputkijärjestelmä. Turun linna on kytketty Turku Energian kaukolämpöverkostoon vuosien 1975 - 1986 esilinnan restauroinnin yhteydessä, jolloin linnan nykyinen lämmönjakohuone rakennettiin päälinnan puolelle. Turun linnan osat ovat esitetty kuvassa 6. Saman restauroinnin yhteydessä linnan patteriverkosto laajennettiin nykyiseen muotoonsa. Ennen kaukolämpöön liittymistä linnaa lämmitettiin öljykattilalla. Kaukolämpö on jaettu kolmeksi omaksi verkostoksi, joilla jokaisella on oma lämmönsiirrin: patteriverkosto, IV-verkosto sekä lattialämmitysverkosto. Kaukolämmön alajakokeskus on esitetty kuvassa 7. Päälinnan puolella on lämmityksessä käytetty kaikkia kolmea lämmitysta-

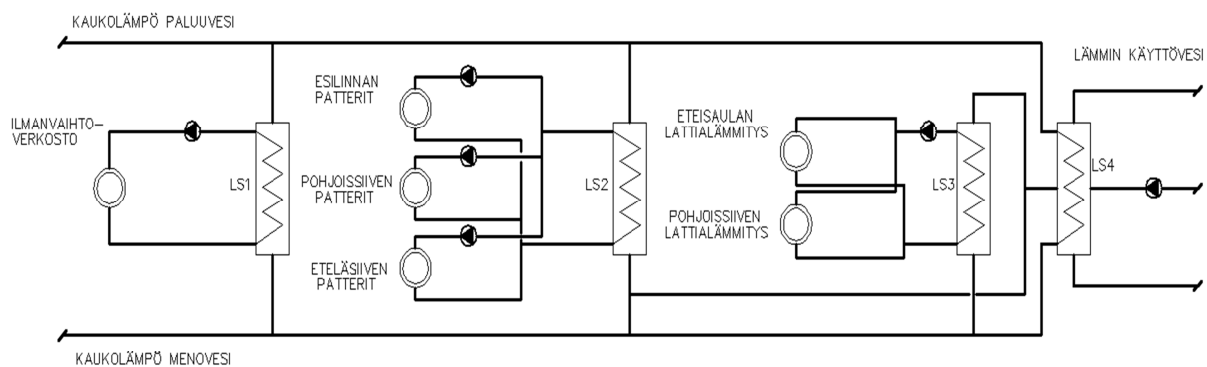


paa, sekä IV-verkostosta eriytettyä kattosäteilijälämmitystä. Esilinnassa käytössä on pääasiassa vain patterilämmitys. Patteriverkoston meno- ja paluuveden lämpötilat ovat mitoituslämpötilassa ( $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  $80 - 60^{\circ}\text{C}$ . (Jokela 1981)



Kuva 6

Turun linnan osat.



Kuva 7

Turun linnan kaukolämmön järjestelmäkaavio.

Turun linnan patteriverkosto on suurimmaksi osaksi rakennettu 1980-luvun aikana, esilinnan 1980-luvun alkupuolella ja päälinnan 1980-luvun lopulla tehtyjen suurempien saneerauksien yhteydessä. Osa patteriverkostosta on kuitenkin peräisin 60-luvun puolivälistä, kuten esilinnan pyöreän tornin patterit sekä osa päälinnan pattereista. 1980-luvulla asennetut lämmityspatterit ovat suurimmaksi osaksi Högforsin radiaattoreita sekä konvektoreita ja 1960-luvulla asennetut ovat vanhoja ripa- ja jaeradiaattoreita. 1960-luvun pattereita esitetty kuvissa 8-9. 1980-luvun saneerauksien jälkeen patteriverkostoon on tehty ainoastaan pienempiä korjauksia, kuten joidenkin pattereiden termostaattien uusiminen sekä kaikkien kolmen lämmönsiirtimen uusiminen vuosien 1999 – 2004 aikana. (Elomatic Oy 2014, A-Insinöörit 2014)



Kuva 8

Vanha ripapatteri asennettuna penkin alle.



Kuva 9

Vanha jaeradiaattori.

Lämmityspattereissa on käytetty Danfossin termostaattisia patteriventtiilejä sekä käsisääteisiä käsipyöräventtiilejä, jotka ovat esitetty kuvissa 10 - 11. Patteriventtiilit ovat pääosin alkuperäisiä 1980-luvulta, mutta yksittäisiä patteriventtiilejä on vaihdettu 1990-luvun jälkeen. Patteriventtiilit ovat ulkopuolisesti kiitettävässä kunnossa, mutta ovat saavuttamassa teknisen käyttöiän päätepisteen, joka on 20 - 25 vuotta. Yksittäisistä patteriventtiileistä puuttui termostaattiosia kokonaan, jolloin patterin lämpötehon ohjaus huonelämpötilan perusteella ei toimi. Kuvassa 12 on esitetty patteriventtiili josta puuttuu termostaattiosa. Linjasäätöventtiilit sekä sulkuventtiilit ovat myös alkuperäisiä 1980-luvulta, joten myös ne ovat teknisen käyttöikänsä päätepisteessä. Linjasäätöventtiilit ovat ulkoisesti kiitettävässä kunnossa, mutta ovat olleet yli 20 vuotta koskemattomana, joten niiden säätöominaisuudet ovat voineet kärsiä merkittävästi. (Elomatic Oy 2014, A-Insinöörit 2014, LVI 01-10424 2008)



Kuva 10

Danfossin termostaattinen patteriventtiili.



Kuva 11

Käsisäätöinen käsipyöräventtiili.



Kuva 12

Patteriventtiilistä puuttuu termostaattiosa.

Patterit on pääsääntöisesti asennettu ikkunoiden alle tai niiden välittömään läheisyyteen. Joissain tiloissa, kuten museomyymälässä, on patterit asennettu lattiasyvennykseen. Lattiasyvennyksiin asennettavien pattereiden lämpöteho pitää ylimitoittaa, sillä lattiasyvennykseen asennus aiheuttaa lämpötehon luovutuksen heikentymistä. Ovien kohdalla lattiasyvennysten yllä oleva ritalä on ”peitetty”, jotta ovesta kulkevien ihmisten kengistä irtoava lika ei tipu suoraan konvektorin päälle. Ritalän peittäminen haittaa patterin lämmönluovutusta huonetilaan kuten kuvasta 13 nähdään. Varsinkin



esilinnan puolella osa pattereista on asennettu paikkoihin, joissa niiden eteen tai päälle on asennettu tavaraa ja näin ollen estää patterin lämpötehon leviämisen huonetilaan. Kuvassa 14 on esitetty piiloasennus penkin sisään. Osassa piiloasennuksia on käytetty termostaatin yhteydessä huoneanturia, joka on johdettu näkyviin. Kuvassa 15 on lämpötila-anturi johdettu huonetilaan rappusten alla olevalta radiaattorilta.



Kuva 13

Konvektori asennettuna lattiasyvennykseen.



Kuva 14

Lämmityspatteri asennettuna penkin sisään.



Kuva 15

Lämpötila-anturi johdettuna huonetilaan.

#### 4.2 Sisäolosuhteet

Turun linnan sisäilman tilaa on selvitetty käyttäjäkyselyillä Elomaticin joulukuussa 2014 suorittamaa kuntoarvioita varten, sekä omilla havainnoilla vierailujen aikana. Päälinnan osalta sisälämpötilat ovat melko tasaiset, ainoastaan yksittäisissä tiloissa on huomattavasti viileämpää kuin muualla. Kyseiset tilat ovat suuria saleja, joiden lämmitys on hoidettu lattialämmityksellä tai ilmalämmityksellä, kuten päälinnassa sijaitseva Sturen kirkko. Esilinnan osalta useampi käyttäjä koki sisälämpötilat alhaisiksi ja vaihteleviksi eri tilojen välillä. Epätasaisten lämpötilojen lisäksi vetoa oli havaittavissa esilinnan puolella. (Elomatic Oy 2014)

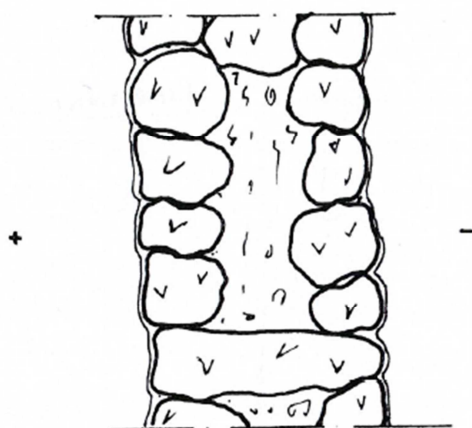
Epätasaisien lämpötilojen ja vedon aiheuttajia on olemassa useita esim. epätasainen patteriverkosto, epätasainen ilmanvaihto sekä huonosti tiivistetyt ikkunat. Turun linnassa suurimmat huolenaiheet ovat vanhojen rakenteiden läpi tuleva korvausilma sekä epätasapainossa oleva patteriverkosto. Päälinnan puolella ilmanvaihto on hoidettu 11 tuloilmakoneella sekä kahdeksalla poistoilmakoneella. Esilinnan puolella ilmanvaihto on järjestetty kolmella tuloilmakoneella ja yhdeksällä poistoilmakoneella. Tiloissa joissa on ainoastaan poistoilmaa, tulee korvausilma sieltä mistä huone sen helppoiten saa. Tiloissa joissa on huonosti tiivistetyt ikkunat, vanhoja ulko-ovia ja seinärakenteissa halkeamia tulee korvausilma suurimmaksi osaksi näiden rakenteiden läpi, jolloin korvausilma on ulkoilman lämpötilassa ja aiheuttaa näin ollen lisää lämmitys-

tehontarvetta. Useissa tiloissa, joissa oli havaittu alhaisia lämpötiloja, viileyttä, vetoa tai muita epä mukavuuksia oli myös havaittu joitain seuraavista: patterin termostaatti rikki tai puuttuu kokonaan, patteri peitetty huonekaluilla tai muilla vastaavilla esineillä ja huoneessa pelkkä poistoilma eikä ollenkaan hallittua tuloilmaa. (Elomatic Oy 2014)

## 5 LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMIEN LASKENTA

### 5.1.1 Päälinna

Tarkkoja rakennepiirustuksia päälinnasta ei ollut saatavilla. Päälinnan seinärakenteet ovat pääosin ns. valumuureja, joiden ulkomuurit ovat harmaakivimuurausta ja täyttönä on käytetty laastia, kiveä, tiiltä yms. Kuvassa 16 on esitetty päälinnassa käytetty valumuuri. Valumuurien lisäksi on yläkerroksissa käytetty samankaltaisia massiivitiilirakenteita kuin esilinnassa. Päälinnan ulkoseinien paksuudet vaihtelevat välillä 850 - 3200 mm. Ikkunat ja ovet ovat pääosin peräisin 1960-luvun alussa valmistuneesta restauroinnista eikä niiden uusimiseen ole nähty tarvetta hyvän kunnon takia. Väli- ja yläpohjissa on käytetty betoni- ja puurakenteita. Alapohjat ovat maanvastaisia pääosin tiilipinnoitteisia. (Museovirasto 1993, Paloheimo & Ollila 1984)



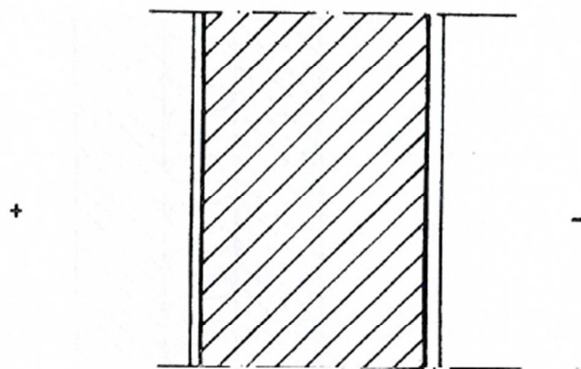
Kuva 16

Valumuuri.

### 5.1.2 Esilinna

Lämpöhäviölaskennan lähtötietoina on käytetty rakennepiirustuksia, jotka ovat tehty 1980-luvulla peruskorjauksen yhteydessä. Esilinnan seinärakenteet ovat pääosin tehty massiivitiilirakenteista, joiden paksuus vaihtelee sisäpihan 700 mm ja vankilan 5000 mm välillä. Kuvassa 17 on esitetty esilinnan massiivitiilirakenne. Pohjoissiiven alimmissa kerroksissa on käytetty myös samankaltaisia valumuureja, kuin päälinnassa. Esilinnan ulkoseinissä on esiintynyt paljon halkeamia johtuen esilinnan perustusten liikkeistä, sillä esilinna on rakennettu savimaalle toisin kuin päälinna. Ulkoseinien halkeamia on paikkailtu pääosin laastilla. (Museovirasto 1993, Paloheimo & Ollila 1984)

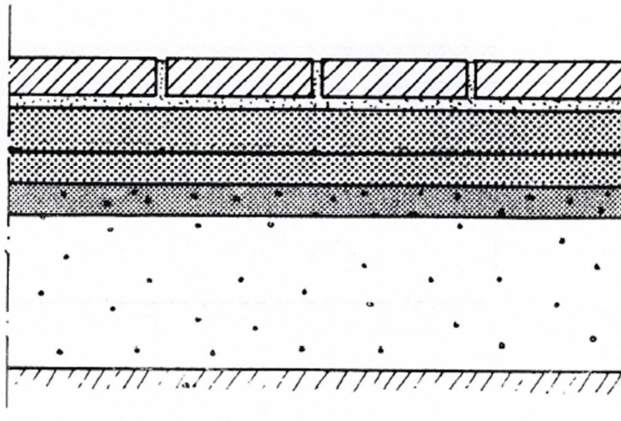
Esilinnan alapohjat ovat tehty uudelleen vuosien 1956 - 1976 perustusten vahvistusten aikana, koska vanhat maanvastaiset puu- sekä tiilirakenteiset alapohjat olivat pääosin hävinneet. Alapohjat tehtiin uudelleen maanvastaisina ja betonisina. Alapohjien pinnoitemateriaaleina on käytetty mm tiiliä, lankkuja ja muovimattoja. Maanvastaiten alapohjien paksuudet vaihtelevat välillä 450 - 600 mm riippuen pinnoitemateriaalista. Kuvassa 18 on esitetty maanvastainen ja tiilipinnoitettu alapohjarakenne. Välipohjat ovat pääosin puupalkkien varaan rakennettuja puupäällysteisiä rakenteita, mutta torneissa ja porrashuoneissa on käytetty myös tiiliholvauksia. Kuvassa 19 on esitetty vanha tiiliholvaus. Yläpohjat ovat puurakenteisia ja niiden rakenne on samankaltainen, kuin välipohjilla. Kuvassa 20 on esitetty puurakenteinen yläpohjarakenne. Ovet ovat pääosin massiivisia ponttipaneeliovia 1980-luvulta. Ikkunat ovat peräisin eri vuosikymmeniltä, sillä niitä on uusittu aina tarpeen vaatiessa. (Museovirasto 1993, Paloheimo & Ollila 1984)



Kuva 17

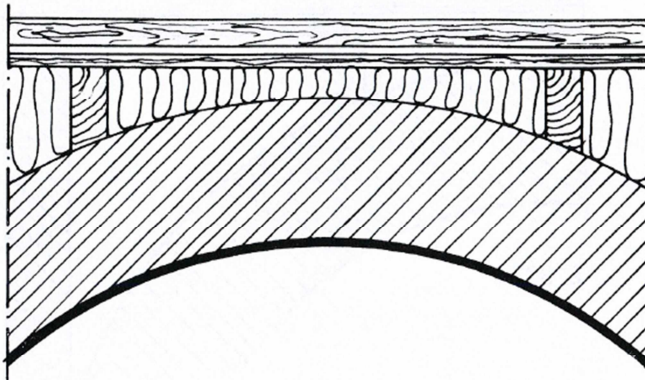
Massiivitiilirakenne





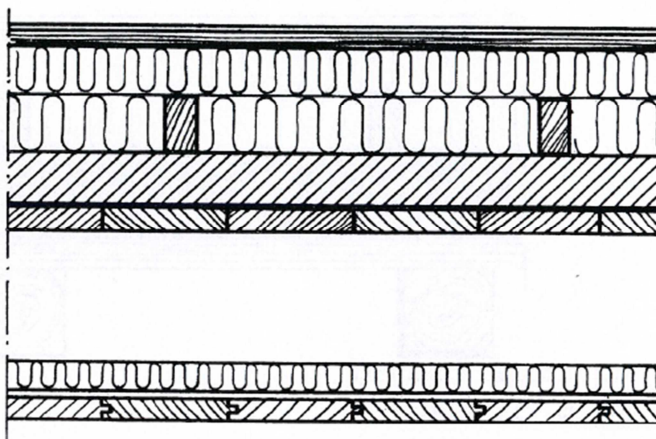
Kuva 18

Maanvastainen tiilipinnoitettu alapohjarakenne.



Kuva 19

Vanha tiiliholvaus.



Kuva 20

Puurakenteinen yläpohjarakenne.

### 5.1.3 U-arvojen laskenta

U-arvolla tarkoitetaan rakenteen lämmönläpäisykerrointa, joka ilmoittaa rakenteen lämmöneristyskyvyn. Mitä pienempi U-arvo rakenteella on sitä paremmin se eristää lämpöä. Yksikkönä käytetään  $W/(m^2 \cdot K)$ . (Suomen RakMK C4 2003)

Laskennassa käytettyjä kaavoja sekä arvoja. (Suomen RakMK C4 2003)

$$U = \frac{1}{RT}$$

$U$  = lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$R_T$  = rakennusosan kokonaislämmönvastus [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

$R_T$  = rakennusosan kokonaislämmönvastus [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$R_{si}$  = sisäpuolinen pintavastus [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$R_{se}$  = ulkopuolinen pintavastus [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$R_{1...n}$  = tietyn rakennekerroksen lämmönvastus [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$$R = \frac{d}{\lambda n}$$

$R$  = lämmönvastus [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$d$  = ainekerroksen paksuus [m]

$\lambda_n$  = normaalin lämmönjohtavuus [ $W/(m \cdot K)$ ]

Esimerkkilasku valumuurista, jonka paksuus on 2600 mm, valumuuri esitetty kuvassa 16.

Seinien vaihtelevan paksuuden ja iän takia tarkkoja ainepaksuuksia ei rakennepiirustuksissa ollut saatavilla, mutta kuvasta 16 nähdään, että harmaakivimuurausta on noin 2/3(1800 mm) seinäpaksuudesta ja täyttömateriaalia 1/3(800 mm). Harmaakivi on usein graniitin vanhentunut nimitys, joten normaalisenä lämmönjohtavuutena käytetään arvoa 2,8  $W/(m \cdot K)$ . Täyttömateriaalina laskuissa on käytetty sementtilaastia, jonka normaalin lämmönjohtavuus on 1,2  $W/(m \cdot K)$ .

## Lämmönvastukset

$$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{*K)/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{*K)/W}$$

$$R_1 = \frac{1,8 \text{ m}}{2,8 \text{ W/(m*K)}} = 0,64 \text{ (m}^2\text{*K)/W}$$

$$R_2 = \frac{0,8 \text{ m}}{1,2 \text{ W/(m*K)}} = 0,67 \text{ (m}^2\text{*K)/W}$$

$$R_T = 0,13 \text{ (m}^2\text{*K)/W} + 0,64 \text{ (m}^2\text{*K)/W} + 0,67 \text{ (m}^2\text{*K)/W} + 0,04 \text{ (m}^2\text{*K)/W}$$

$$R_T = 1,48 \text{ (m}^2\text{*K)/W}$$

$$U = \frac{1}{1,48 \text{ (m}^2\text{*K)/W}} = 0,68 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$$

Ulkoseinille lasketut U-arvot vaihtelevat erittäin paljon alhaisimman ollessa 0,13 W/(m<sup>2</sup>\*K) ja suurimman ollessa 1,7 W/(m<sup>2</sup>\*K). Alhaisin U-arvo laskettiin 5000 mm paksulle massiivitiiliseinälle ja suurin taas 850 mm paksulle valumuurille. Vanhoille ikkunoille ja oville on U-arvo otettu Suomen rakennusmääräyskokoelmasta C3, jonka mukaan vanhojen ikkunoiden U-arvo on 2,6 W/(m<sup>2</sup>\*K) ja ovien 2,5 W/(m<sup>2</sup>\*K). Maanvastaisille alapohjille on laskettu U-arvo 0,38 W/(m<sup>2</sup>\*K). Yläpohjille on laskettu U-arvo 0,19 W/(m<sup>2</sup>\*K). Kaikki lasketut U-arvot eri rakenteille ovat esitetty taulukossa 1. Suomen rakennusmääräyskokoelma D3:sta saadaan eri rakenteiden U-arvojen vertailu- ja maksimi-arvot lämpimissä tiloissa, jotka on esitetty taulukossa 2. (SuomenRakMK D3 2012)

## Taulukko 1

Lasketut U-arvot.

	Rakenne	Paksuus [mm]	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]
US1	Valumuuri	2600	0,68
US2	Massiivitiili	700	0,79
US3	Massiivitiili	2100	0,29
US4	Massiivitiili	2750	0,23
US5	Massiivitiili	5000	0,13
US6	Massiivitiili	4600	0,2
US7	Massiivitiili	1400	0,43
US8	Valumuuri	3200	0,57
US9	Valumuuri	1700	0,98
US10	Valumuuri	2400	0,74
US11	Valumuuri	850	1,7
AP	Maanvastainen	470	0,38
YP	Puurakenteinen	520	0,19

## Taulukko 2

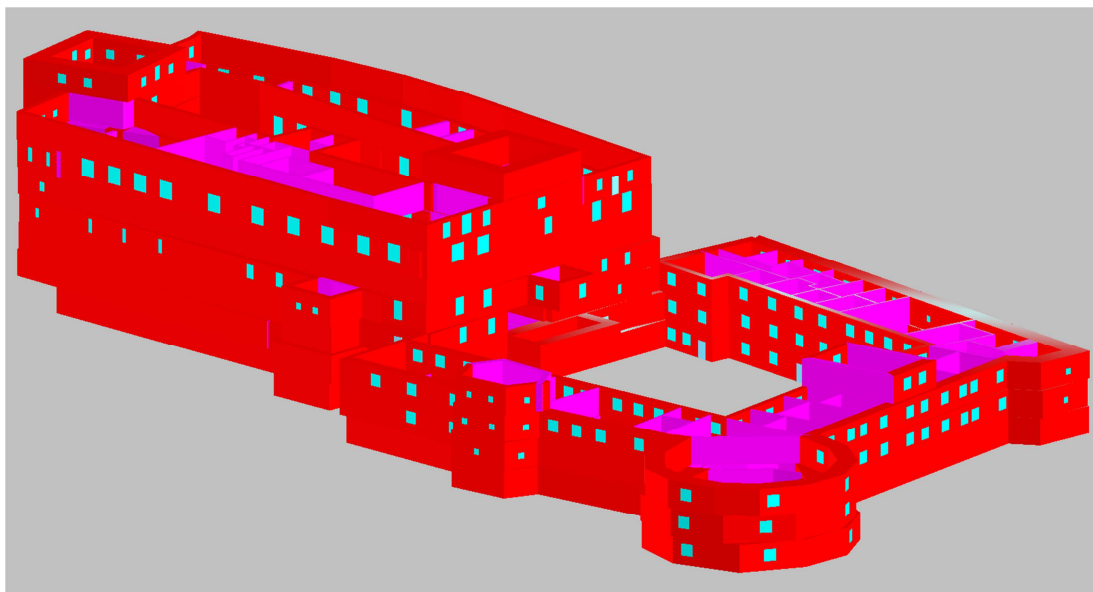
U-arvojen vertailuarvoja. (SuomenRakMK D3 2012)

	Vertailuarvo	Maksimiarvo
Ulkoseinät	0,17 W/(m <sup>2</sup> *K)	0,6 W/(m <sup>2</sup> *K)
Yläpohja	0,09 W/(m <sup>2</sup> *K)	0,6 W/(m <sup>2</sup> *K)
Alapohja maata vastaan	0,16 W/(m <sup>2</sup> *K)	0,6 W/(m <sup>2</sup> *K)
Ikkuna ja ovi	1 W/(m <sup>2</sup> *K)	1,8 W/(m <sup>2</sup> *K)

Vertailtaessa Turun linnan rakenteiden U-arvoja vertailuarvoihin huomataan, että vertailuarvoja ei saavuteta kuin tietyissä osin ulkomuureja, joissa seinän paksuus on 5000 mm. Lämpimien tilojen rakenteiden maksimiarvot ylitettiin ikkunoiden, ovien ja tiettyjen ulkomuurien kohdalla. Turun linnan rakenteiden U-arvoja ei pystytty suoraan vertaamaan nykypäivän rakenteiden vastaaviin U-arvoihin, sillä rakennusmääräykset, -materiaalit ja -tekniikat ovat kehittyneet merkittävästi niistä vuosista, jolloin linnaa on rakennettu.

## 5.1.4 Room-mallin luonti

U-arvojen laskennan jälkeen rakenteille lasketut arvot syötetään MagiCAD Room-ohjelmaan, jossa jokaiselle rakenteelle luodaan oma tunnus. Jokaiselle rakenteelle määritetään U-arvon lisäksi sen materiaali, paksuus sekä korkeus. Rakenteiden luonnin jälkeen aloitettiin itse mallinnus, jossa linnan pohjakuvien päälle piirrettiin seinärakenteet Room-ohjelmalla. Ulko- ja sisäseinien piirron jälkeen siirryttiin piirtämään ovet ja ikkunat. Kun kokonainen kerros on mallinnettu, siirryttiin huonekohtaisten tilojen määrittelyyn. Tilojen määrittelyssä jokaiselle huoneelle voidaan määrittellä tarkempia tietoja, kuten huoneen ilmanvaihdon ilmamäärät, ylä-, väli- ja alapohjien rakenteet sekä haluttu sisälämpötila. Kun huoneiden tarkemmat määrittelyt ovat tehty, käynnistettiin itse laskentaprosessi, jossa MagiCAD Room-ohjelma laskee syötettyjen tietojen perusteella jokaiselle määritetylle tilalle sen lämpöhäviöt. Turun linnan lämpöhäviömalli on esitetty kuvassa 21.

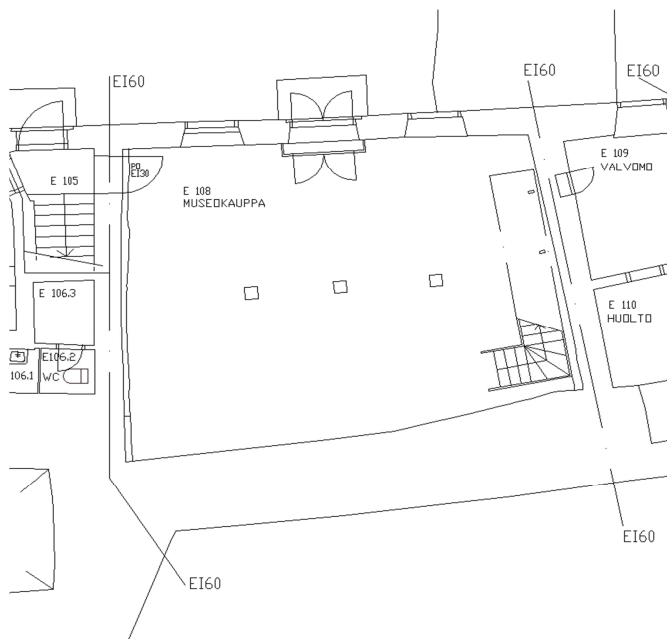


Kuva 21

Turun linna lämpöhäviömalli mallinnettuna MagiCAD Room-ohjelmalla.

## 6 ESIMERKKIHUONEEN TARKASTELU

Tässä kappaleessa esitetään esimerkkihuoneen lämpöhäviölaskelmien avulla miten lämpöhäviöt on laskettu ja tarkastellaan pattereiden lämmönluovutusta kyseisessä huoneessa. Esimerkkihuoneen lämpöhäviöt ovat laskettu tässä kappaleessa manuaalisesti, mutta muissa tiloissa on käytetty MagiCAD-Room-ohjelman laskemia lämpöhäviöitä. Manuaalisesti laskettuja lämpöhäviöitä on verrattu Room laskentaan ja lämpöhäviöissä ei ollut suuria eroavaisuuksia. Esimerkkihuoneena on käytetty esilinnassa sijaitsevaa museokauppaa, jonka pinta-ala on  $120 \text{ m}^2$ , korkeus  $5000 \text{ mm}$  ja tilavuus  $600 \text{ m}^3$ . Museokaupan pohjakuva esitetty kuvassa 22. Koska kyseessä on iso ja korkea tila, jossa pinta-alat ovat suuria, korostuvat rakenteiden lämpöhäviölaskennan tulokset. Museokaupassa on poistoilmaventtiilejä, joiden kokonaisilmavirta on  $97 \text{ l/s}$ . Tuloilmaa ei museokaupassa ole, joten korvausilman tila ottaa sieltä mistä sen helpoiten saa. Seinien, ovien ja ikkunoiden rakenteen takia olettamuksena on, että korvausilma tulee ulkoseinien, ikkunoiden ja ulko-ovien läpi.



Kuva 22

Museokaupan pohjapiirustus.

Laskennassa käytettyjä kaavoja sekä arvoja. (Suomen RakMK D3 2012, Suomen RakMK D5 2012)

Ulkoseinien lämpöhäviöt

$$\phi_s = U * A_{us} * \Delta t$$

$\phi_s$  = ulkoseinien lämpöhäviöt [W]

$U$  = lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$A_{us}$  = ulkoseinien pinta-ala [ $m^2$ ]

$\Delta t$  = lämpötilaero [ $^{\circ}C$ ]

$\phi_{s1...n}$  = tietyn ulkoseinän lämpöhäviö [W]

$$\phi_{s1} = 0,29 \text{ W}/(m^2 \cdot K) * 62,5 \text{ m}^2 * (21 - (-26)) \text{ } ^{\circ}C = 851,9 \text{ W}$$

$$\phi_{s2} = 0,79 \text{ W}/(m^2 \cdot K) * 45,8 \text{ m}^2 * 21 - (-26) \text{ } ^{\circ}C = 1700,6 \text{ W}$$

Alapohjan lämpöhäviö

$$\phi_A = U * A_A * \Delta t$$

$\phi_A$  = alapohjan lämpöhäviöt [W]

$U$  = lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$A_A$  = alapohjan pinta-ala [ $m^2$ ]

$\Delta t$  = lämpötilaero [ $^{\circ}C$ ]

$$\phi_A = 0,38 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \cdot 120 \text{ m}^2 \cdot (21-5) ^{\circ}C = 729,6 \text{ W}$$

Ikkunoiden lämpöhäviöt

$$\phi_I = U \cdot A_I \cdot \Delta t$$

$\phi_I$  = ikkunoiden lämpöhäviöt [W]

$U$  = lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$A_I$  = ikkunoiden pinta-ala [ $m^2$ ]

$\Delta t$  = lämpötilaero [ $^{\circ}C$ ]

$$\phi_I = 2,6 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \cdot 5,1 \text{ m}^2 \cdot (21-(-26)) ^{\circ}C = 623,2 \text{ W}$$

Ovien lämpöhäviöt

$$\phi_O = U \cdot A_O \cdot \Delta t$$

$\phi_O$  = ovien lämpöhäviöt [W]

$U$  = lämmönläpäisykerroin [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$A_O$  = ovien pinta-ala [ $m^2$ ]

$\Delta t$  = lämpötilaero [ $^{\circ}C$ ]

$$\phi_O = 2,5 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \cdot 3,6 \text{ m}^2 \cdot (21-(-26)) ^{\circ}C = 423 \text{ W}$$

Vuotoilman lämpöhäviöt

$$q_{V.I} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \cdot A_{vaiippa}$$

$q_{V.I}$  = vuotoilmavirta [l/s]

$q_{50}$  = rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku [ $m^3/(h \cdot m^2)$ ]

3600 = kerroin, joka muuttaa ilmavirran  $m^3/h$  yksiköstä  $m^3/s$  yksikköön

$x$  = kerroin, joka määräytyy rakennuksen kerrosten lukumäärän mukaan

$A_{vaiippa}$  = huoneen vaipan pinta-ala [ $m^2$ ]

$$q_{V.I} = \frac{4 \text{ m}^3/(h \cdot m^2)}{3600 \cdot 20} \cdot 438 \text{ m}^2 = 0,024 \text{ m}^3/s$$

$$\phi_{V.I} = q_{V.I} * \rho * C_{pi} * \Delta t$$

$\phi_{IV}$  = korvausilman lämpöhäviöt [W]

$q_{V.I}$  = vuotoilmavirta [l/s]

$\rho$  = ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$C_{PI}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]

$\Delta t$  = lämpötilaero [°C]

$$\phi_{V.I} = 0,024 \text{ m}^3/\text{s} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (21 - (-26))^\circ\text{C} = 1353,6 \text{ W}$$

Korvausilman lämmitys

$$\phi_{IV} = q_{IV} * \rho * C_{pi} * \Delta t$$

$\phi_{IV}$  = korvausilman lämpöhäviöt [W]

$q_{IV}$  = korvausilmavirta [l/s]

$\rho$  = ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$C_{PI}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]

$\Delta t$  = lämpötilaero [°C]

$$\phi_{IV} = 97 \text{ l/s} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (21 - (-26))^\circ\text{C} = 5470,8 \text{ W}$$

Huoneen kokonaislämpöhäviöt

$$\phi = \phi_S + \phi_A + \phi_I + \phi_O + \phi_{V.I} + \phi_{IV}$$

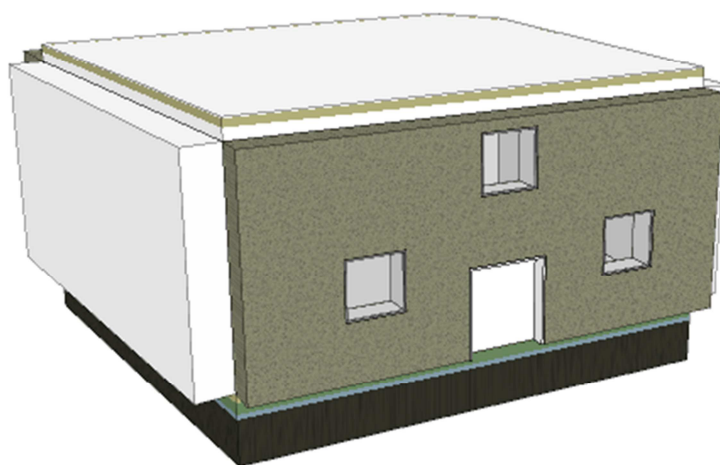
$$\phi = 2552,5 \text{ W} + 729,6 \text{ W} + 623,2 \text{ W} + 423 \text{ W} + 1353,6 \text{ W} + 5470,8 \text{ W} = 11152,7 \text{ W}$$

Museokaupan lämpöhäviöiden ollessa 11152,7 W tarvitaan teoriassa saman verran lämpötehoa pattereilta, jotta lämpötila pysyisi halutussa +21 °C lämpötilassa. Museokaupan lämmitys on toteutettu Högforsin Radia C-konvektoreilla, joita huoneessa on yhteensä kuusi kappaletta. Konvektorit ovat pituudeltaan 3500 mm (4 kpl) ja 3000 mm (2 kpl) ja ovat sijoitettu huoneen reunoille lattiasyvennyksiin. Konvektoreiden sijainnit huoneessa sekä lattiasyvennykset esitetty kuvissa 23 - 24. Vanhan Högforsin esitteen mukaan pattereiden yhteenlaskettu teho on 12 200 W, jossa on otettu huomioon lattiasyvennys asennuksen aiheuttama n. 20 % suuruinen lämpötehon laskeminen. Patterit ovat peräisin 1980-luvulta ja ovat keränneet lattiasyvennyksessä likaa ja pölyä pinnoillensa, joten voidaan olettaa lämpötehon myös laskeneen pintojen li-



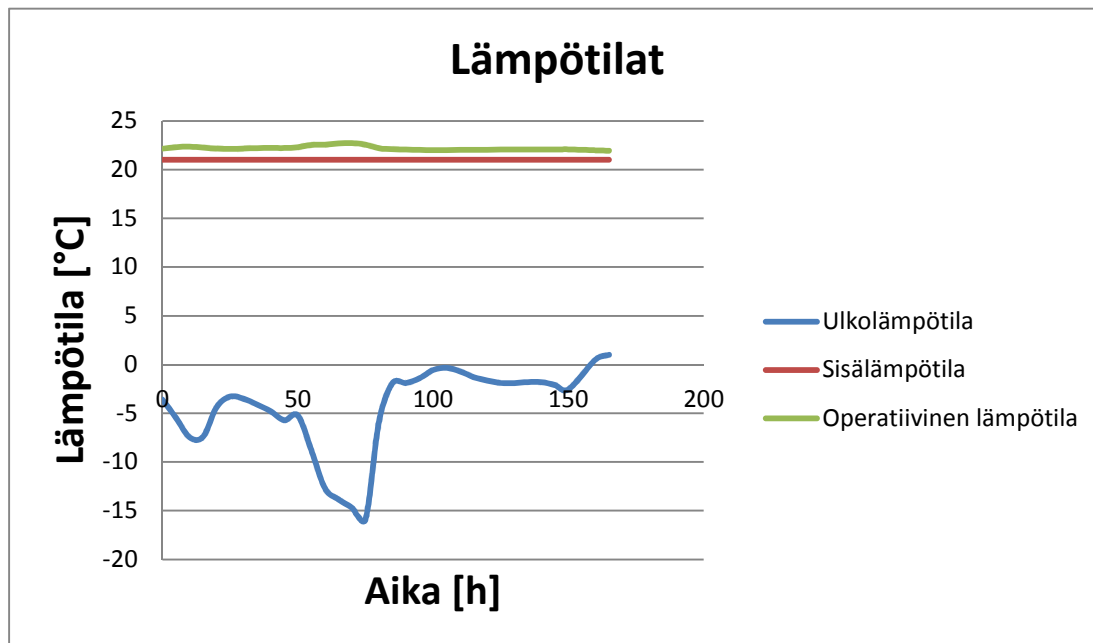


Museokauppaa tarkasteltiin myös IDA ICE-ohjelmalla, jolla simuloitiin museokaupan lämpötehontarvetta eri ulkolämpötiloilla viikon tarkastelujaksolla. IDA ICE-ohjelmalla pystytään simuloimaan huonetilan lämpötiloja eri ulkolämpötiloilla, sekä erilaisilla tilaan sijoitetuilla lämmönlähteillä. Simuloinnilla pyrittiin tarkastelemaan massiivisten tiiliseinien vaikutusta lämpötilojen vaihteluun. IDA ICE-malli on esitetty kuvassa 25. Kuvassa 26 on esitetty museokaupan sisälämpötilat huoneen keskeltä mitattuna sekä operatiivisena lämpötilana (tuntuvana lämpötilana) verrattuna ulkolämpötilaan tarkastelujakson aikana. Kuvassa 27 on esitetty lämmitystehontarpeen vaihtelu suhteessa ulkolämpötilaan huoneen vakiolämpötilalla 21 °C saman viikon aikana. Kuvassa 28 on esitetty koko vuoden lämmitystehontarve kuukausittaisilla keskiarvoilla. Suurista seinäpaksuuksista huolimatta ulkolämpötilan vaihtelut näkyvät huoneen lämpötehontarpeessa ilman suurempia viiveitä. Päälinnan osalta varauskyky on suurempi, sillä seinämateriaali on paljon tiheämpää ja omaa näin ollen paremman lämmönvarauskyvyn: esilinnan massiivitiiliseinien tiheys on  $1500 \text{ kg/m}^3$  ja päälinnan muureissa käytetyn graniitin tiheys on  $2700 \text{ kg/m}^3$ .



Kuva 25

Museokaupan IDA ICE-malli.



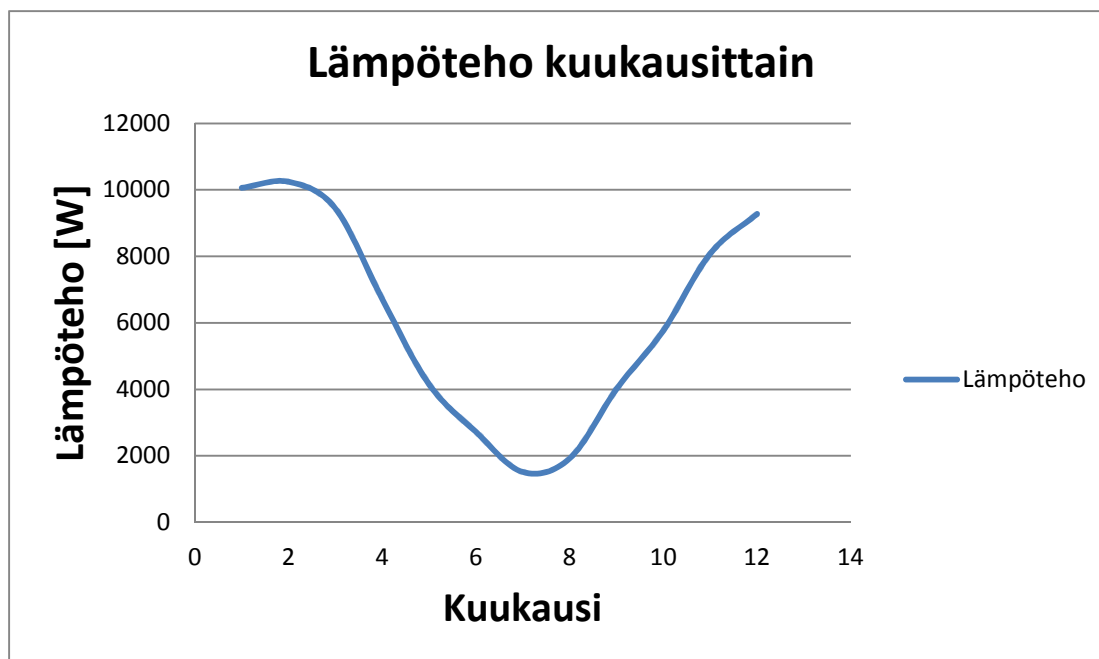
Kuva 26

Museokaupan lämpötilat tarkastelujakson aikana.



Kuva 27

Museokaupan tarvitsema lämmitysteho tarkastelujakson aikana.



Kuva 28

Museokaupan tarvitsema lämmitysteho kuukausittain vuoden tarkastelujaksolla.

## 7 TEOREETTINEN TARKASTELU LÄHTÖTILANTEeseen

Turun linnan patteriverkoston tasapainotuksen suorittamisen jälkeen vertailtiin tasapainotuksen tuloksia alkuperäisiin suunnitelmiin. Verrattaessa eri lämmityspiirien lämmitysvedenvirtaamia alkuperäisiin voidaan todeta, että alkuperäinen verkosto on ollut ylimitoitettu. Vanhojen suunnitelmien mukaan koko patteriverkoston lämmitysteho on 1400 kW ja tasapainotuksen jälkeisen mitoituksen kokonaisteho on 720 kW. Tasapainotetun verkoston lämpöteho laskee 51 % verrattuna alkuperäisiin suunnitelmiin. Alkuperäiset virtaamat sekä tasapainotuksen jälkeiset virtaamat esitettynä taulukossa 3. (Jokela 1981)

Taulukko 3

Uudet lämmitysverkoston virtaamat verrattuna vanhoihin virtaamiin. (Jokela 1981)

	Vanhat virtaamat	Uudet virtaamat
Päälinnan pohjoisverkosto	5,8 l/s	1,7 l/s
Päälinnan eteläverkosto	2,3 l/s	1,4 l/s
Esilinna	8,5 l/s	5,5 l/s
Yhteensä	16,6 l/s	8,6 l/s

Yritimme myös selvittää mistä näin suuret erot lämmitystehoissa voisivat johtua, mutta oli erittäin vaikea verrata tuloksia, koska vanhoista lämpöhäviölaskuista ei ollut mitään dokumentaatiota saatavilla eikä ole tiedossa millaisia U-arvoja silloin on käytetty. Patteriverkoston piirrettäessä lämmityspattereiden lämpötehot valittiin kunkin huoneen lämpöhäviöiden perusteella ja vanhoista esitteistä tarkastettiin, että pystyykö lämpöpatteri luovuttamaan tarvittavan lämpötehon. Lämpöpattereiden lämpötehot vastasivat erittäin hyvin lämpöhäviölaskennan tuloksia. Havaitimme myös monen lämmityspatterin kohdalla, että siitä on yritetty ottaa enemmän lämpötehoa, kuin se pystyy mitoituslämpötiloilla luovuttamaan. Esimerkiksi lämmityspatterista, jonka maksimiteho esitteen mukaan mitoituslämpötiloilla on 1500 W on yritetty ottaa 2500 W lämpötehoa. Tämä tarkastelu on pystytty tekemään vain niille lämmityspattereille, joille patteriventtiilin esisäätöarvo oli annettu lämpöpiirustuksissa. (Jokela 1981)

Patteriverkoston reilu ylimitoitus on ollut melko yleistä 1970- ja 1980-luvuilla, jolloin on usein voitu laskea lämpöhäviöt yhdestä tilasta, jossa on oletettu olevan rakennuksen suurimmat lämpöhäviöt esim. kulmahuone, josta on laskettu lämmityshontarve neliötä kohden, jolla on mitoitettu myös loput rakennuksen tiloista. On myös mahdollista, että verkostoa suunniteltaessa on otettu huomioon mahdolliset jälkikäteen tehtävät verkoston laajennukset.

Patteriverkoston tehoja vertailtaessa huomataan, että vanha verkosto on reilusti ylimitoitettu, joten heräsi kysymys mistä lämpötilojen alhaisuudet ja epätasaisuudet ovat johtuneet. Asiaa tarkemmin tutkiessa huomasimme kiertovesipumppujen olevan alimitoitettuja. Pumppukäyriä verrattaessa vanhoihin suunnitelmiin voidaan huomata että tarvittavan virtaaman pumput pystyvät tuottamaan, mutta paineenkorotus on kaikilla kolmella kiertovesipumpulla riittämätön verkoston oikeanlaisen toiminnan kannalta. Kaikille kolmelle eri pumpulle on suunniteltu 65 kPa paineenkorotusta, mutta millään pumpulla ei päästä lähelle suunniteltua arvoa. Virtaamakäyristä kävi myös ilmi, että päälinnan pumpuissa käytetty juoksupyörä ei ole vakiokokoa vaan vakio-koja pienempi. Päälinnan pumpuissa on käytetty juoksupyöränä 120 mm halkaisijaltaan olevaa ja esilinnan pumpussa 140 mm. Näiden tulosten varjolla voidaan todeta, että Turun linnan patteriverkosto ei ole koskaan toiminut sille suunnitelluilla tehoilla. Verkosto on kuitenkin ollut niin paljon ylimitoitettu, joten lämmitysverkos-

ton lämpöteho on koettu riittäväksi. Kiertovesipumppujen virtaamakäyrät esitetty kuvissa 29 - 31, joissa on jokaisen pumpun käyrästään piirrettynä toimintapiste nykyisillä juoksupyörillä.

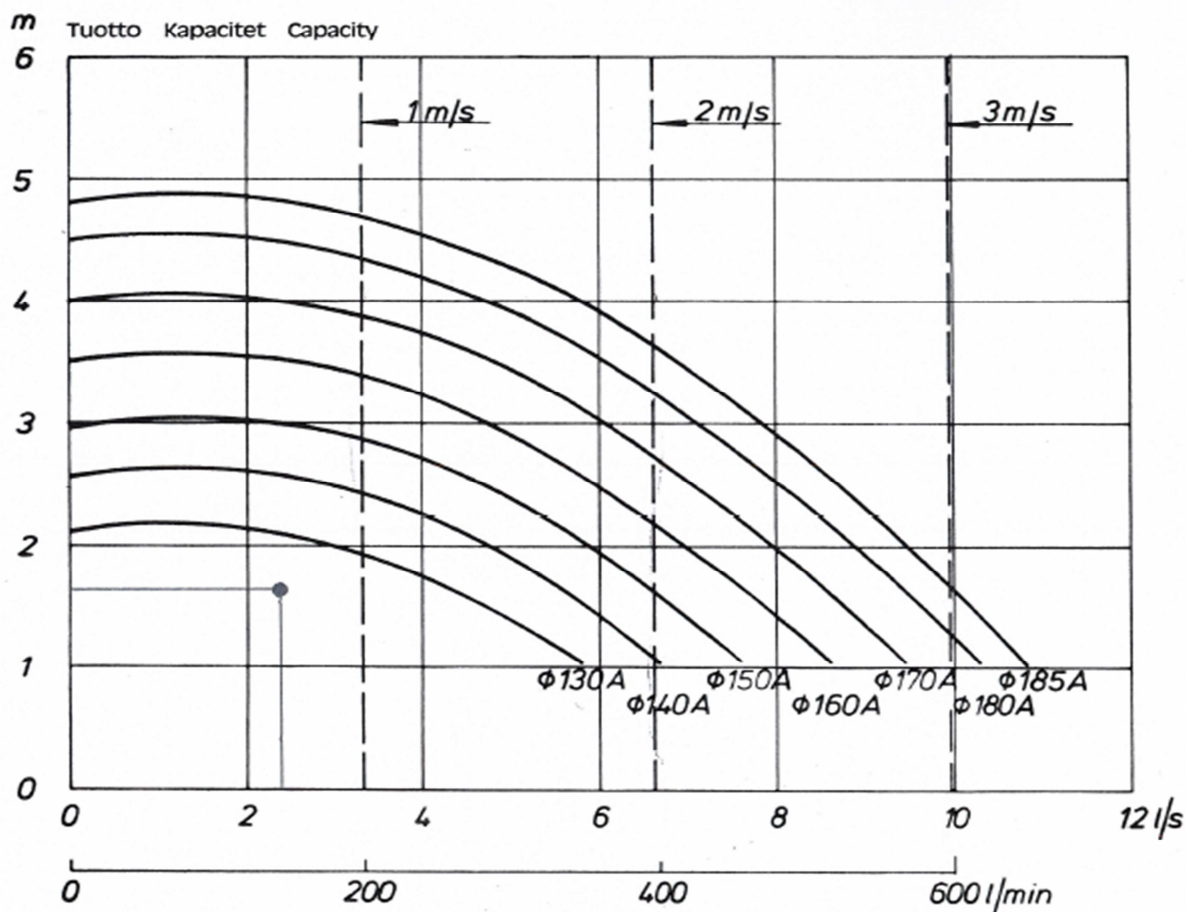
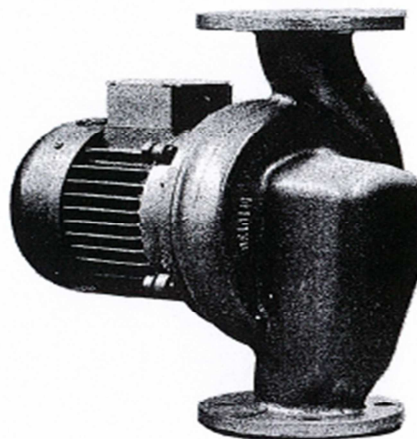
# AKN-65/6

Lämpöjohtopumppu  
Värmeledningspump  
Heating pump

Moottori: OKN-100 B3 N20  
Motor: 0.37 kW  
Motor: 1.15/2.0 A 380/ 220 V  
16 r/s

Kotelointiluokka IP 44  
Skyddsform  
Enclosure class

Eristysluokka F  
Isoleringsklass  
Insulation class



Kuva 29

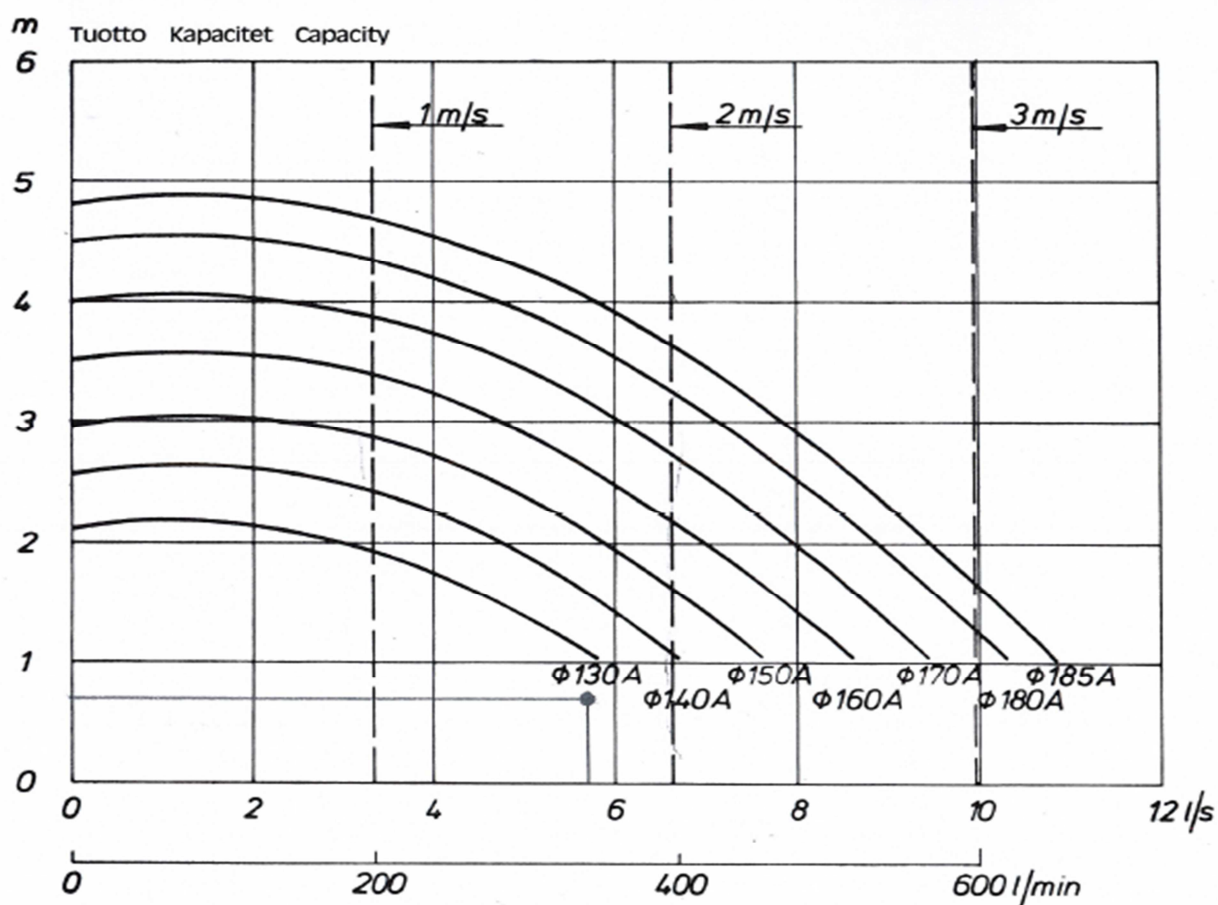
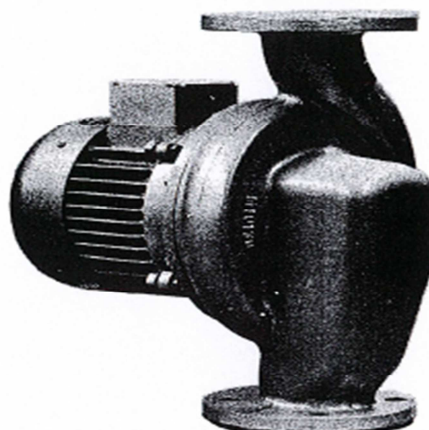
Päälinnan eteläpiirin kiertovesipumpun virtaamakäyrästä. (Kolmeks 1987)

# AKN-65/6

Lämpöjohtopumppu  
Värmeledningspumpp  
Heating pump

Moottori: OKN-100 B3 N20  
Motor: 0.37 kW  
Motor: 1.15/2.0 A 380/ 220 V  
16 r/s

Kotelointiluokka IP 44  
Skyddsform  
Enclosure class  
Eristysluokka F  
Isoleringsklass  
Insulation class



Kuva 30

Päälinnan pohjoispiirin kiertovesipumpun virtaamakäyrästä. (Kolmeks 1987)

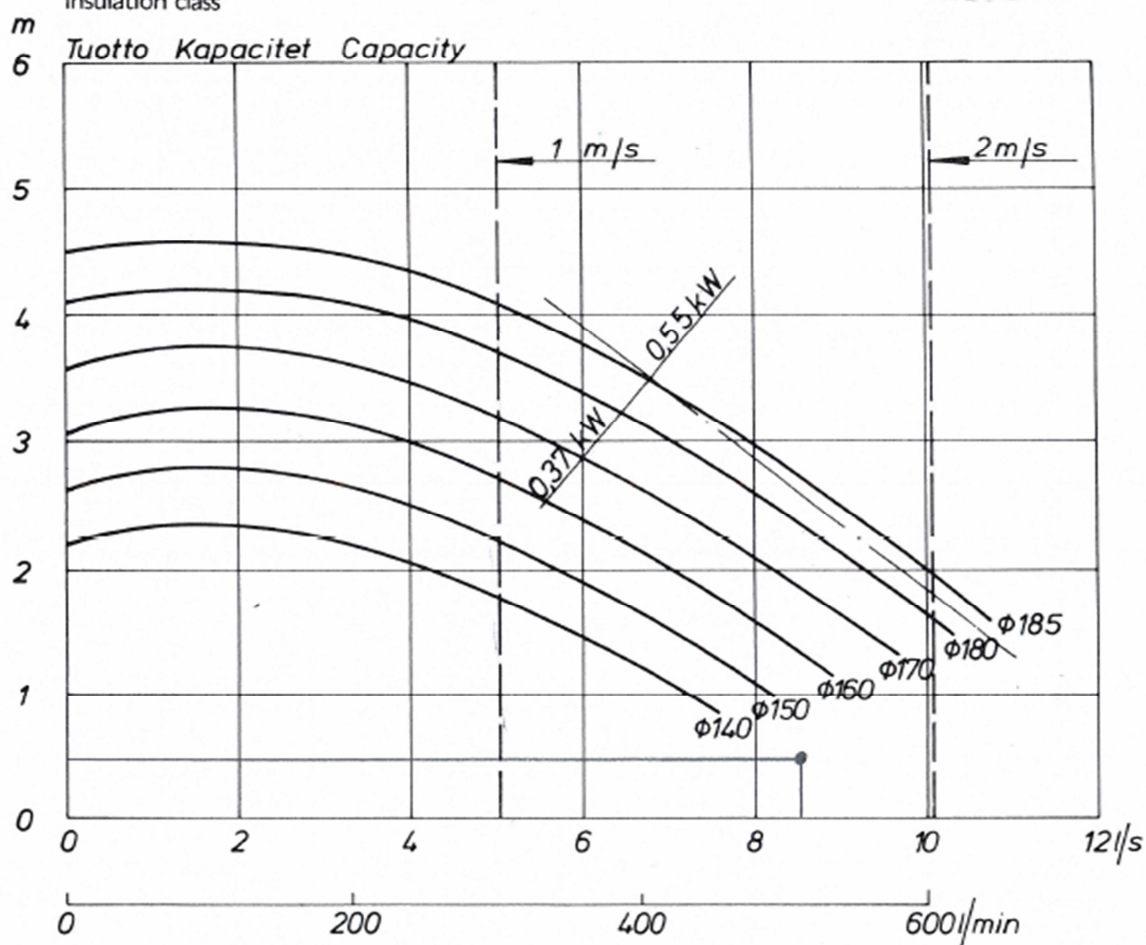
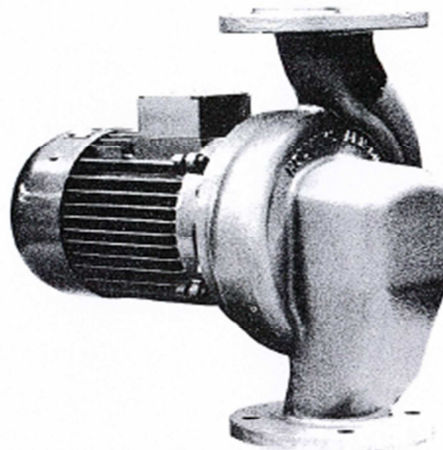


# AKN- 80/6

Lämpöjohtopumppu  
Värmeledningspump  
Heating pump

Moottori: OKN-101 C3 N20 0.55kW 1.75/3.0A  
Motor: OKN-100 B3 N20 0.37kW 1.15/2.0A  
Motor: 380/220 V 15 r/s

Kotelointiluokka IP 44  
Skyddsform  
Enclosure class  
Eristysluokka F  
Isoleringsklass  
Insulation class



Kuva 31

Esilinnan kiertovesipumpun virtaamakäyrästä. (Kolmeks 1987)



## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tuottaa Turun linnan patteriverkoston tasapainotukseen tarvittavat materiaalit ja tarkastella eri näkökulmista miten kulttuurihistoriallinen rakennus vaikuttaa työn suoritukseen. Tarvittavat selvitykset ja laskelmat saatiin suoritettua pääosin kiitettävästi, joskin vanhojen suunnitelmien puutteellisuus aiheutti joitain ongelmia, kuten tietyiltä osin linnaa ei pystytty selvittämään putkireittejä ilman pintamateriaalien purkua. Lämpöhäviölaskennassa haasteita aiheutti päälinnan muurien rakennekuvien puuttuminen, epätietoisuus valumuurien täyttömateriaaleista ja vanhoissa rakenteissa olevat halkeamat.

Patteriverkoston toiminnan kannalta alimitoitettut kiertovesipumput ovat erittäin suuressa roolissa, joten pelkällä pumppujen uusimisella ja patteriverkoston tasapainotuksella saadaan aikaan energiatehokas ja tasapainoinen patteriverkosto. Patteriverkoston tasapainotusta ei valitettavasti päästä toteuttamaan sille suunnitellulla tavalla, koska suunnittelun ollessa lähes valmis tapahtui Turun linnassa vanhan lämmityspatterin hajoaminen, jonka seurauksena tehtiin päätös koko patteriverkoston uusimisesta. Patteriverkoston tasapainotusta varten tehty materiaali tulee kuitenkin tarpeeseen, sillä uusi patteriverkosto suunnitellaan käyttäen tätä materiaalia suunnittelun runkona.

## LÄHTEET

1. Raatikainen, Eero (toim.), Turun linnan korjaus vuosina 1975-1993. Museoviraston rakennushistorian osaston raportteja 5. Museovirasto 1993
2. Turun linnan www-sivut 2015. Viitattu 23.03.2015. <http://www.turunlinna.fi>
3. A-Insinöörit, Turun linnan kuntokatselmus ja PTS-ehdotus, 2014
4. Elomatic Oy, Turun linnan LVIA-kuntoarvioraportti, 2014
5. Suomen RakMK C4. 2003. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö.
6. Suomen RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
7. Suomen RakMK D5. 2012. Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmityshontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
8. LVI 41-10230 Lämmitysverkoston säätö, 1994.
9. Insinööritoimisto Eero Paloheimo & Matti Ollila, Rakennekuvat, 1984.
10. Insinööritoimisto Åke Jokela, Lämpökuvat, 1981.
11. LVI 01-10424 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot, 2008.
12. Högfors.1981. Högfors radiaattorit ja konvektorit yleisesite. Viitattu 13.04.2015.  
<http://www.purmo.com/publisher/onlineview.php?doc=/docs/Hogfors-Radiaattorit-konvektorit-30011981.pdf&locale=fi-FI>
13. Kolmeks.1987. Kolmeksin pumppuesite.